

вычисленного по замеренным значениям емкости и $\tan \delta$ группы (по тестовым замерам до 40 %).

Для полного решения данной проблемы необходимо проведение дополнительных исследований.

Список литературы: 1. В.Т.Рене Электрические конденсаторы. – Л. Отд. «Энергия», 1969. – 592 с.

Поступила в редколлегию 05.03.2010

УДК 544.032 : 537.528

О.Н.СИЗОНЕНКО, д-р техн. наук, Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины, Николаев;

Э.И.ТАФТАЙ, Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины, Николаев;

Р.П.КОЛМОГорова, Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины, Николаев;

Е.В.ЛИПЯН, Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины, Николаев;

А.С.ТОРПАКОВ, Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины, Николаев;

А.Д.ЗАЙЧЕНКО, Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины, Николаев

ВЛИЯНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА НА ИЗМЕНЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СМАЧИВАНИЯ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ПОВЕРХНОСТНО- АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

У доповіді представлені результати експериментальних досліджень впливу гідродинамічних характеристик високовольтних імпульсних розрядів у розчинах поверхнево-активних речовин на їх енергетичні характеристики змочування – відносну роботу адгезії.

The report presents the results of experimental studies of the influence of the hydrodynamic characteristics of high-voltage pulse discharges in solutions of surface-active substances on their energy characteristics of wetting – relative work of adhesion.

Постановка задачи. При фильтрации жидкостей через пористые материалы возникают проблемы, связанные с загрязнением пор различными ви-

дами отложений, как хрупкими (окислами железа и кремния, глиной, известью, гипсом, цементом, хлоридами кальция и магния), так и пластичными (асфальтенами, смолами, парафинами и др.).

Как показано в работах [1, 2], фильтрационные характеристики пористых сред, закольматированных солями, улучшаются за счет разрушения отложений солей волнами сжатия и выноса их из зоны воздействия в результате нестационарной фильтрации рабочей технологической жидкости. Использование же электроразрядной технологии при воздействии на породы, закольматированные асфальто-смоло-парафиновыми отложениями (АСПО) неэффективно, так как вышеперечисленных факторов недостаточно для удаления вязкопластичных АСПО. По этой же причине малоэффективными оказываются и другие импульсные методы.

В работах [3 - 5] было предложено использовать комплексное воздействие высоковольтного электрического разряда (ЭР) в растворах поверхностно-активных веществ (ПАВ) на процессы фильтрации и регенерации пористых сред осадочного происхождения закольматированных АСПО. В этих работах было установлено, что использование в качестве рабочей среды при высоковольтном электрическом разряде растворов синтетических ПАВ способствует созданию синергетического эффекта в изменении фильтрационных характеристик пористых сред осадочного происхождения. Была высказана гипотеза, что неаддитивное изменение фильтрационных характеристик может происходить в результате усиления способности ПАВ удалять отложения с твердых поверхностей.

Известно, что эффективность действия ПАВ в различных технологиях зависит от интенсивности протекания поверхностных явлений в системах с их участием. Проведенные в работе [6] исследования позволили установить связь между режимом ввода энергии ЭР в растворах ПАВ, обусловленную параметрами разрядного контура, с изменением поверхностных явлений и обменных процессов на межфазных границах.

Дальнейшие исследования были направлены на оценку влияния волны сжатия при разряде как составной части ЭР воздействия на свойства растворов ПАВ, в частности, исследовалась связь гидродинамических характеристик разряда с изменением термодинамических характеристик растворов ПАВ.

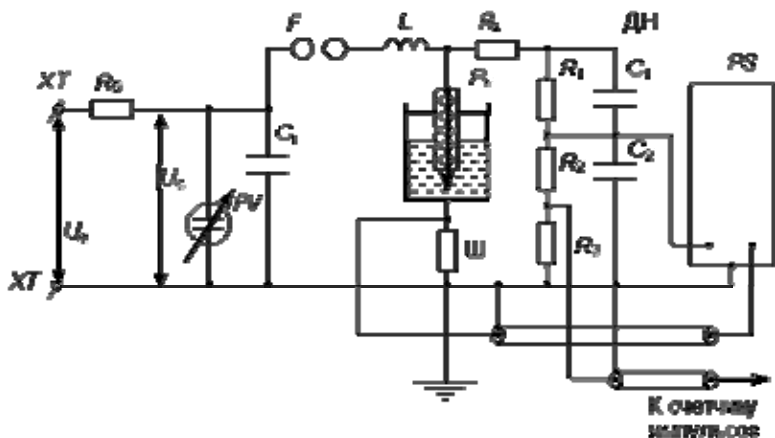
Целью данной работы является исследование влияния гидродинамических характеристик электрических высоковольтных импульсных разрядов в коллоидных растворах ПАВ на изменение энергетических характеристик смачивания этих растворов.

Методика эксперимента Экспериментальные исследования выполнялись на стенде, представленном на рис. 1.

Режим ввода энергии в плазменный канал разряда изменялся путем

варьирования параметрами разрядного контура, при этом неизменной была запасаемая энергия. Варьирование напряжением заряда и емкостью накопителя позволяло изменять скорость нарастания тока от $4,8 \cdot 10^8$ до $2,5 \cdot 10^9$ А/с и длительность первой полуволны тока от $3,5 \cdot 10^{-6}$ до $7 \cdot 10^{-6}$ с, а варьирование индуктивностью разрядного контура от $4 \cdot 10^{-6}$ до $16 \cdot 10^{-6}$ Гн обеспечило изменение длительности первой полуволны тока от $5 \cdot 10^{-6}$ до $9,7 \cdot 10^{-6}$ с, тем самым изменяя режим ввода энергии в плазменный канал разряда.

Электрические и энергетические характеристики разряда определялись по осциллограммам тока и напряжения на электродной системе. Осциллографирование тока проводилось с помощью омического коаксиального шунта, а напряжения с резистивно-емкостного делителя – согласно электрической схеме, приведенной на рис. 1.



U_e – напряжение источника питания; R_0 – балластный резистор; C_n – рабочая емкость разрядного контура; U_c – рабочее напряжение; PV – киловольтметр; L – индуктивность разрядного контура; Π – коаксиальный шунт; P_k – рабочая камера; R_d – демпфирующий резистор; PS – запоминающий осциллограф; F – воздушный разрядник; ДН – делитель напряжения; R_1, R_2, R_3, C_1, C_2 – элементы делителя напряжения

Рисунок 1 – Электрическая схема исследовательского стенда

В исследованиях были использованы представители анионных (алкилбензолсульфонат натрия Сульфонол концентрацией 4 кг/м^3), неионогенных (оксиэтилированный алкилфенол Неонол АФ₉-12 концентрацией 1 кг/м^3), катионных (Катапин-бактерицид алкил-полибензилпиридиный хлорид концентрацией 6 кг/м^3) типов ПАВ, и смесь анионных и неионогенных ПАВ (многофункциональная композиция НМК-РХ концентрацией 3 кг/м^3).

Известно, что ЭР в водных электролитах носит случайный характер из-за большого количества факторов, которые влияют на его формирование, по-

этому наблюдается значительный разброс электрических характеристик. Поскольку при многократном повторении опыта распределение характеристик разряда подчиняется нормальному закону, все результаты экспериментальных исследований представлены в виде средних арифметических значений характеристик разряда и соответствующих доверительных интервалов при коэффициенте надежности 0,65, вычисленных по результатам десяти опытов на каждой экспериментальной точке.

Теоретическое исследование гидродинамических характеристик разряда выполнялось исходя из электрических характеристик разряда, полученных экспериментальным путем.

Максимум давления P_k в канале разряда определялся по формуле (1) [7,8]:

$$P_k = P_a \cdot b_0(\eta_1), \quad (1)$$

где P_a – промежуточный коэффициент давления, рассчитываемый по формуле (2), Па; $b_0(\eta_1)$ – промежуточная безразмерная функция, определяемая по формуле (3); η_1 – доля энергии, выделенной в первом полупериоде тока разряда.

$$P_a = \left(\frac{\rho_0 U^2}{L \cdot l_p} \right)^{0,5}, \quad (2)$$

где ρ_0 – плотность рабочей среды, кг/м³; U – рабочее напряжение, В; L – индуктивность разрядного контура, Гн; l_p – длина разрядного промежутка, м.

$$b_0(\eta_1) = \frac{\gamma - 1}{2\alpha_1 \gamma} \cdot \frac{\eta_1^{0,3} \cdot (1 - 0,85\eta_1) (1 + \eta_1^3)^{2\alpha_1}}{(0,37 + 0,6\eta_1^2)^{2\alpha_1 - 1,5}}, \quad (3)$$

где γ – отношение теплоемкостей жидкости при постоянном давлении и объеме; α_1 – безразмерный коэффициент, рассчитываемый по формуле (4):

$$\alpha_1 = 0,73 + 1,22\eta_1^{\frac{3}{2}} \cdot e^{-1,47\eta_1^3}. \quad (4)$$

Начальные значения гидродинамических параметров принимались равными их значениям в невозбужденной среде.

Экспериментальные и теоретические исследования проводились в водных растворах ПАВ и в дистиллированной воде при нормальных условиях. Так как почти во всех режимах обработки разряд был близким к критическому, то можно считать, что наибольшее влияние на гидродинамические характеристики разряда оказывалось первым полупериодом тока разряда.

В работе представлены исследования связи гидродинамических характеристик разряда с изменением относительной работы адгезии.

Под адгезией (или прилипанием) понимают силу сцепления между двумя, приведенными в соприкосновение разнородными телами. Адгезию часто характеризуют работой адгезии, которую надо затратить, чтобы разделить две фазы, имеющие поверхность соприкосновения 1 см² (или 1 м²). В резуль-

тате первоначальная энергия Гиббса системы уменьшается на величину, равную работе адгезии W_a

$$W_a = -\Delta G. \quad (5)$$

Работу адгезии можно рассчитать, используя уравнение Дюпре–Юнга:

$$W_a = \sigma \cdot (1 + \cos \theta), \quad (6)$$

где σ – поверхностное натяжение раствора, Н/м, θ – краевой угол смачивания.

Уравнение (6) позволяет рассчитать работу адгезии если определить экспериментально краевой угол смачивания и поверхностное натяжение растворов ПАВ.

Экспериментальное измерение поверхностного натяжения производилось методом счета капель с помощью сталагмометра (методика описана в работе [5], максимальная погрешность измерений 3 %, минимальная выборка из 5 измерений).

Для определения краевого угла смачивания растворов применялся метод измерения геометрических размеров капли [9]. Увеличенное микроскопом и оптической системой фотоаппарата изображение капли регистрировалось в нем и в цифровом виде переносилось в персональную электронно-вычислительную машину для последующей обработки. При помощи графического редактора на изображении капли определялся диаметр основания капли d и ее высота h . Косинус краевого угла смачивания θ вычислялся по формуле (7).

$$\cos \theta = \frac{(d/2)^2 - h^2}{(d/2)^2 + h^2}. \quad (7)$$

Отсюда краевой угол смачивания

$$\theta = \arccos \left[\frac{(d/2)^2 - h^2}{(d/2)^2 + h^2} \right]. \quad (8)$$

Проверка погрешности методики проводилась по эталонным жидкостям с известной величиной краевого угла смачивания. Максимальная погрешность измерений составила не более 5 %, минимальная выборка из 10 измерений.

Работа когезии W_κ определяется затратой энергии на обратимый изотермический разрыв тела по сечению, равному единице площади. Т.к. при разрыве образуется поверхность в две единицы площади, то работа когезии равна удвоенному значению поверхностного натяжения на границе с газом:

$$W_\kappa = 2 \cdot \sigma. \quad (9)$$

Относительная работа адгезии Z_a – величина, которая связывает работу адгезии W_a с работой когезии W_κ

$$Z_a = \frac{W_a}{W_\kappa} = (\cos \theta + 1)/2, \quad (10)$$

где W_a – работа адгезии, Дж/м²; W_κ – работа когезии, Дж/м².

Основная часть. Графическое изображение зависимости относительной работы адгезии раствора Сульфанола от максимума давления в канале разряда при варьировании значениями длительности первого полупериода тока разряда τ (рис. 2) показывает, что с ростом давления в канале разряда наблюдается рост относительной работы адгезии. Однако в зависимости от длительности первого полупериода тока разряда наблюдается и различная скорость роста относительной работы адгезии. Это означает, что рост давления в канале разряда является лишь одним из факторов, влияющих на снижение поверхностной энергии системы при ЭР разряде. Так как наибольший рост относительной работы адгезии наблюдается в режиме с $\tau=9,7$ мкс (рис. 2, кривая 4), то можно предположить, что при обработке анионоактивных ПАВ значимым фактором является не только амплитуда давления, но и время воздействия импульса давления, связанное с длительностью первого полупериода тока разряда [7].

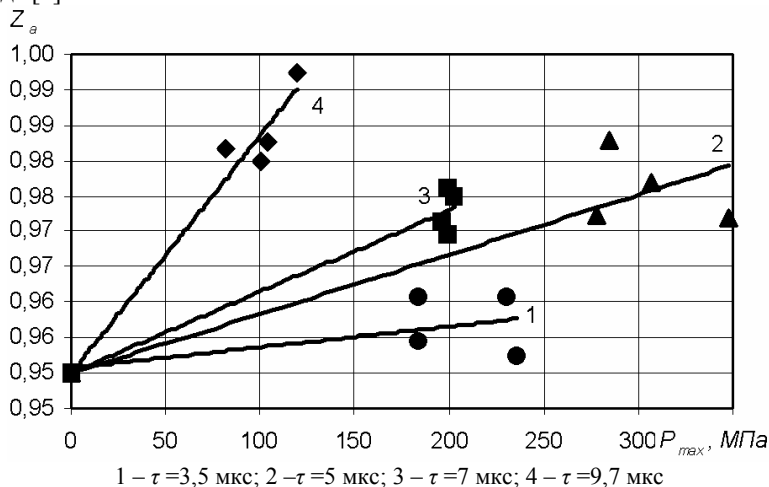


Рисунок 2 – Зависимость относительной работы адгезии от максимума давления в канале ЭР в растворе Сульфанола

При аналогичных параметрах воздействия на раствор неионогенного Неонола АФ₉-12 (рис. 3). прослеживается хорошо выраженная пропорциональная зависимость роста относительной работы адгезии от давления в канале разряда. Таким образом, можно заключить, что при обработке неионогенных ПАВ ключевым фактором является именно значение максимального давления в канале.

При обработке с теми же параметрами раствора НМК-РХ (смеси анионоактивных и неионогенных ПАВ с различными синтетическими добавками) тенденция роста относительной работы адгезии пропорционально максимуму давления в канале разряда сохраняется (рис. 4), однако режим обработки с

большей длительностью воздействия давления (рис. 4, кривая 4) дала большую скорость роста относительной работы адгезии.

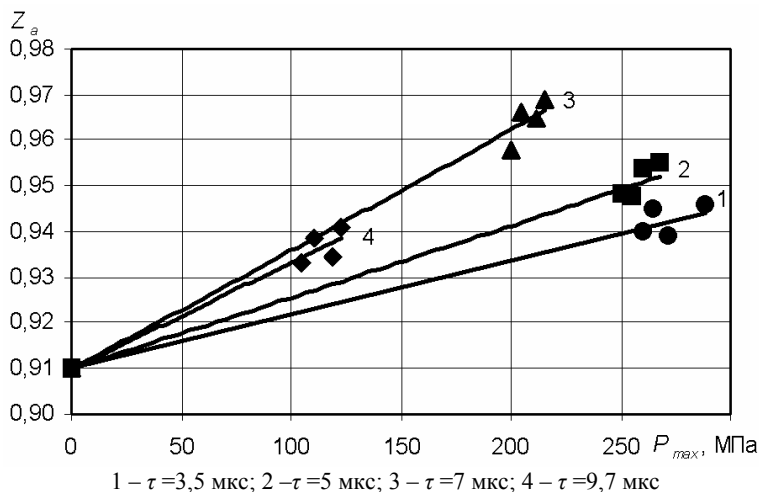


Рисунок 3 – Зависимость относительной работы адгезии от максимума давления в канале ЭР в растворе Неонол АФ₉-12

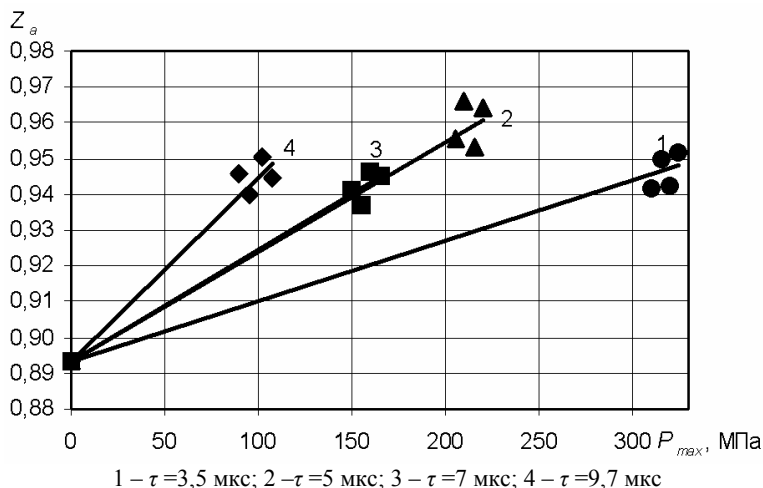


Рисунок 4 – Зависимость относительной работы адгезии от максимума давления в канале ЭР в растворе НМК-РХ

Таким образом, можно констатировать, что в смеси анионоактивных и неионогенных ПАВ проявляются особенности каждого из составляющих сме-

си, так как значимыми факторами обработки являются максимальное значение давления в канале разряда и длительность действия давления.

Поведение катионактивного раствора Катапина при указанных длительностях первого полупериода тока разряда отличается от рассмотренных ранее растворов (рис. 5). С ростом максимума давления в канале разряда идет снижение относительной работы адгезии на всех режимах обработки. Однако при увеличении длительности первого полупериода разрядного тока (рис. 5, кривые 3,4) наблюдается и большая скорость снижения относительной работы адгезии. Таким образом, ЭР обработка катионактивных ПАВ приводит к снижению относительной работы адгезии, пропорционально времени воздействия давления.

Таким образом, исследования показали, что модифицирующее действие ЭР на активность растворов ПАВ зависит от их типа по ионной характеристике.

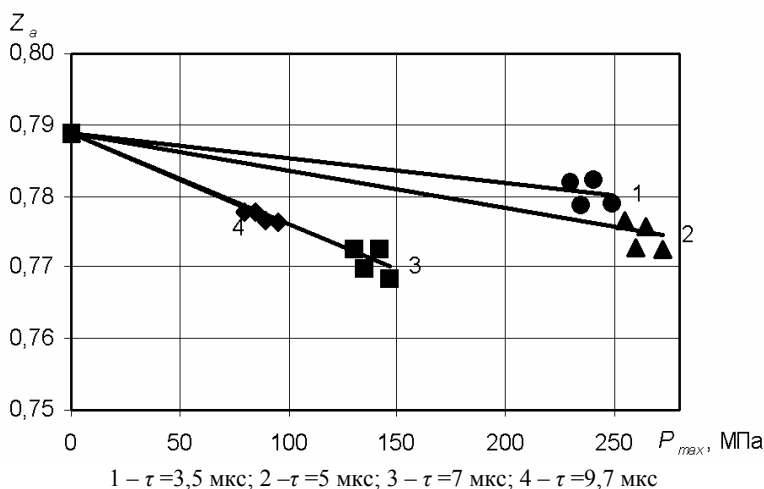


Рисунок 5 – Зависимость относительной работы адгезии от максимума давления в канале ЭР в растворе Катапина

Выводы. Установлены закономерности связи гидродинамических характеристик электрических высоковольтных импульсных разрядов в коллоидных растворах ПАВ с изменением энергетических характеристик смачивания водных растворов поверхностно-активных веществ. Установлено, что модифицирующее действие ЭР на активность растворов ПАВ зависит от их типа по ионной характеристике. Рост относительной работы адгезии в растворах, содержащих анионактивные и неионогенные ПАВ (Сульфолон, Неонол АФ₉-12 и композиция НМК–РХ), возрастает с ростом максимума давления в канале ЭР. Увеличение максимума давления в канале ЭР при воздействии на раствор катионактивных ПАВ (Катапин) способствует снижению от-

носительной работы адгезии, что целесообразно использовать для решения проблем торможения процессов смачивания и адсорбции процессов. Важным фактором воздействия при ЭР обработке растворов анионоактивных, катионоактивных ПАВ и их композиции является длительность действия давления.

Список литературы: 1. Сизоненко О.Н. Особенности электроразрядной технологии интенсификации фильтрационных процессов в нефтяных коллекторах / О.Н. Сизоненко, И.С. Швец // Современные проблемы электрофизики и электродинамики жидкостей. – Санкт-Петербург: НИИ, 1988. – С. 137–139. 2. Сизоненко О.Н. Применение электроразрядного воздействия для обработки добывающих и нагнетательных скважин / О.Н. Сизоненко, И.С. Швец, А.В. Кучернюк // Нефтяное хозяйство. – 2000. – № 12. – С. 133–135. 3. Исследовать влияние комплексного воздействия электрического разряда и реагентной обработки на изменение фильтрационных характеристик пород-коллекторов нефтяных пластов с целью увеличения притока нефти в скважины: отчет о НИР (заключ.) / ИИПТ НАН Украины; рук. Сизоненко О.Н.; исполн.: Жекул В.Г. [и др.]. – Николаев, 1997. – 134 с. – № ГР 0194007379. – Инв. № 0398U005062. 4. Сизоненко О.Н. Особенности изменения фильтрационных характеристик пород-коллекторов при реагентно-импульсном воздействии / О.Н. Сизоненко, Н.М. Шерстнев // Нефтяное хозяйство. – 2001. – № 4. – С. 49–51. 5. Исследование и оценка синергетического эффекта в изменении фильтрационных характеристик пористых насыщенных сред при электрическом разряде в поверхностно-активных веществах: отчет о НИР (заключ.) / ИИПТ НАН Украины; рук. Сизоненко О.Н.; исполн.: Дыхта Л.М. [и др.]. – Николаев, 2003 – 239 с. – № ГР 0100U004071. – Инв. № 0203U006526. 6. Исследование импульсного воздействия высоковольтного разряда в растворах поверхностно-активных веществ на физико-химическое состояние системы жидкость – пористая среда: отчет о НИР (заключ.) / ИИПТ НАН Украины; рук. Сизоненко О.Н.; исполн.: Излиев А.И. [и др.]. – Николаев, 2009 – 204 с. – № ГР 0107U004475. – Инв. №. 7. Шамко В.В. Теоретические основы инженерных расчетов энергетических и гидродинамических параметров подводного искрового разряда / В.В. Шамко, В.В. Кучеренко. – Николаев: Ин-т импульсных процессов и технологий АН Украины, 1991. – 51 с. – (Препринт / АН Украины, Ин-т импульсных процессов и технологий; № 20). 8. Наугольных К.А. Электрические разряды в воде / К.А. Наугольных, Н.А. Рой. – М.: Наука, 1971. – 155 с. 9. Руководство к практическим работам по коллоидной химии / под ред. О.Н. Григорова. – М.; Л.: Химия, 1964. – 326 с.

Поступила в редколлегию 05.03.2010

ПОРЯДОК ПОДАЧІ СТАТЕЙ ДЛЯ ОПУБЛІКУВАННЯ У ВІСНИКУ НТУ «ХП»

Для опублікування статті у Віснику НТУ «ХП» необхідно подати у тематичну редколегію такі документи:

1 Заявку підписану всіма авторами:

«Прошу прийняти статтю [прізвища авторів, назва статті] на ... сторінках [указати кількість сторінок] для опублікування у Віснику НТУ «ХП». Оплату гарантуємо. Відомості про авторів: [прізвище, ім'я, по-батькові кожного автора, наукове звання, посада, місце роботи, контактний телефон].

Підписи авторів.»